

B I B L I O T H E K  
 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz  
 der Technischen Universität Braunschweig  
 Beethovenstraße 52  
 D-3300 Braunschweig

Sanierung rissebehafteter Schutzbauten

von K. Kordina und J. Steinert

(durchgesehene Fassung vom 24.03.1982)

1. Veranlassung und Inhalt

Ältere und auch neuere Schutzbauten weisen vielfach Risse auf, die durch Schwinden, Zwängungsspannungen aus anderen Ursachen oder äußere Einwirkungen zu erklären sind. Diese Risse beeinträchtigen bei entsprechender Ausprägung (große Rißbreite, Rißlänge und Rißanzahl) die Wasser- und insbesondere die Gasdichtigkeit (Gas = Luft) und führen zum Verlust des ABC-Schutzes, wenn der in den Bautechnischen Grundsätzen geforderte Mindestwert des Raumüberdrucks von 5 mmWS ( $50 \text{ N/m}^2$ ) nicht mehr aufrecht erhalten werden kann. Ob ein solcher Fall eintritt oder nicht, hängt von der Auslegung des Lüfters ab. Dabei ist zu beachten, daß zur Druckerhöhung nicht die Umluftförderung, sondern nur der relativ kleine Frischluft-Förderanteil,  $1,8 \text{ m}^3/\text{h Pers.}$ , zur Verfügung steht.

Durch Verpressen derartiger Risse mit Reaktionsharzen kann bei relativ jungen Betonen nicht nur die Festigkeit des Gefüges annähernd wiederhergestellt, sondern damit auch Gas- und Wasserdichtigkeit erreicht werden. Jedoch war - insbesondere im Hinblick auf die Sanierung der aus dem 2. Weltkrieg stammenden Schutzbauten - nicht bekannt,

- ob mit Reaktionsharzen auch bei 30 bis 40 Jahre alten Betonen noch eine haftschlüssige Verbindung der beiden Rißufer erreicht werden kann,
- wie sich derartig verpreßte Risse unter statischer Spaltzugbeanspruchung verhalten,
- welche Verpreßtiefen in massigen Bauteilen erreicht werden können,
- bis zu welchen minimalen Rißabmessungen die Risse verschlossen werden können und müssen, um Gasdichtigkeit, d.h. vertretbare Luftmengenverluste, zu gewährleisten.

Diese Fragen waren Gegenstand des nachfolgend beschriebenen Vorhabens. Außerdem werden für den Schutzraumbau wesentliche Erfahrungen für das Verpressen von Rissen mit Reaktionsharzen mitgeteilt.

Auftraggeber: Bundesamt für Zivilschutz

## 2. Verpressen von alten Rissen am Schutzbau

Die Frage, inwieweit Jahrzehnte alte klaffende Risse in Schutzbauten aus den Jahren 1940 bis 1944 noch haftschlüssig verpreßt werden können, wurde an einem Bauwerk in Braunschweig, auf dem Gelände des Städt. Krankenhauses Holwedestraße, untersucht; in /1/ Tabelle 13 unter Nr. 21 aufgeführt. Es handelt sich um einen zweigeschossigen, teilentfestigten Hochbunker aus dem Jahre 1942. Der Bunker weist - vermutlich aufgrund der 1946/47 durchgeführten Entfestigung - zahlreiche klaffende Risse unterschiedlicher Breite auf, die überwiegend durch den 2,00 m dicken Wandquerschnitt verlaufen. Nach heutiger Erkenntnis sind diese Risse häufig deshalb durch eine große Breite gekennzeichnet, weil die Bunker - augenscheinlich auch noch sehr sparsam - mit Stahl I bewehrt worden sind.

Auf zwei Seiten dieses Bunkers wurden im Bereich zweier Risse mehrere Bohrkerne, zum Teil über die gesamte Wanddicke, entnommen:

Riß 1:     Breite  $b = 0,40 \dots 0,70$  mm, Bohrtiefe  $d \approx 1,55$  m,  
schrägverlaufender Riß; Rißtiefe im Kern ca. 1,20 m

Riß 2:     Breite  $b = 0,25 \dots 1,50$  mm, Bohrtiefe 2,00 m  
von außen bis  $d \approx 1,20$  m:  $b \geq 1,0$  mm  
von 1,20 m bis 1,86 m:  $1,00 \geq b \geq 0,75$  mm  
     $\geq 1,86$  m: Verzweigung in Einzelrisse  
     $b = 0,25 \dots 0,54$  mm

Nahezu senkrecht zur Wandoberfläche verlaufender Riß im  
Bereich einer Arbeitsfuge (läßt Rißverlauf  $\perp$  zur Außenwand  
erwarten)

Die Entnahmestellen zeigt Anlage 1, ein aufgebrochener Bohrkern aus dem Anfangsbereich von Riß 2 ist in Anlage 2 abgebildet. Trotz der klaffenden Risse konnten die Kerne noch in Teilstücken von ca. 25 bis 40 cm Länge erbohrt und danach ohne auseinanderzufallen transportiert werden. Auf den Rißflächen der Kerne wurden beim Aufbrechen im Institut Wasserablaufspuren und ein nicht näher untersuchter Bewuchs sowie eine Besiedlung mit kleinen spinnenartigen Tieren bis zu einer Tiefe von ca. 1 m festgestellt.

Die Bohrkerne besaßen ein gut verdichtetes Betongefüge (in /1/ wurde der Beton als wasserdicht eingestuft), enthielten allerdings in Übereinstimmung mit Beobachtungen an anderen älteren Schutzbauten poröse, bimsähnliche Zuschlagstoffe und Holzstücke; das Größtkorn erreichte Linearabmessungen von ca. 6 cm.

Vor dem Verpressen wurden die o.g. Entnahmestellen (A, vergl. Anlage 1) wieder zubetoniert und die Risse an der Oberfläche - mit Ausnahme der Injektionsstellen, an denen Kunststoffröhrchen angesetzt worden sind - über eine Länge von  $\geq 2$  m mit einer Zweikomponenten-Spachtelmasse zugespachtelt.

Die Risse wurden dann in der Weise mit Epoxidharz verpreßt, daß über Schlauchleitungen, beginnend am unteren Kunststoffröhrchen, unmittelbar unter der späteren Kernentnahmestelle, das Harz so lange eingepreßt wurde, bis es aus dem darüber liegenden Röhrchen austrat; das betreffende Röhrchen wurde anschließend jeweils druckfest verschlossen. Diese Arbeiten wurden von der Fa. P. Schulte-Stemmerk KG, Duisburg, durchgeführt. Das verwendete Injektionsharz und die Verpreßtechnologie bestimmen das Ergebnis derartiger, im vorliegenden Fall als besonders schwierig einzustufender Verpreßarbeiten. Deshalb muß vor der Annahme gewarnt werden, daß auch andere Firmen ohne entsprechenden Nachweis am Bauwerk zu den gleichen, nachfolgend angeführten Ergebnissen gelangen würden.

14 Tage nach dem Verpressen wurden aus dem Bereich der verpreßten Risse Bohrkerne entnommen, diese nach Augenschein beurteilt und stückweise auf Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit senkrecht und parallel zur Rißebene nach DIN 1048 geprüft.

#### Beurteilung:

- Riß 1: Bohrtiefe = 1,20 m  
Verpreßtiefe  $\geq 1,20$  m; weiterer Rißverlauf außerhalb der Bohrkerne
- Riß 2: Bohrtiefe = 2,00 m,  
Verpreßtiefe ca. 1,86 m, dort Rißverzweigung,  
ca. 14 cm nicht verpreßt (Rißbreite  $\leq 0,54$  mm)

Über die verpreßte Länge waren die Rißufer ohne Fehlstellen durch das Reaktionsharz fest verbunden. Bei der Prüfung der Spaltzugfestigkeit verliefen die Bruchflächen außerhalb der Grenzsicht Beton - Kunstharz, siehe Anlage 3.

#### Prüfergebnisse:

Druckfestigkeit, Mittelwert aus zwei Einzelwerten:

Bohrkern 1: 50,8 N/mm<sup>2</sup>  
Bohrkern 2: 54,1 N/mm<sup>2</sup>

#### Spaltzugfestigkeit:

Bohrkern 1, Mittelwerte aus zwei Einzelwerten:

senkrecht zur Rißebeine: 3,26 N/mm<sup>2</sup>  
parallel zur Rißebeine: 2,52 N/mm<sup>2</sup>

Bohrkern 2, Mittelwerte aus drei Einzelwerten:

senkrecht zur Rißebeine: 3,09 N/mm<sup>2</sup>  
parallel zur Rißebeine: 2,89 N/mm<sup>2</sup>

Die Festigkeit der Bohrkerne mit verpreßten Rissen unterscheidet sich - trotz einer Abhängigkeit von der Prüfrichtung - nicht in signifikanter Weise von der des ungerissenen Betons am selben Bauwerk.

Aufgrund dieser Prüfergebnisse kann erwartet werden, daß mit geeigneten Reaktionsharzen und Verpreßverfahren auch alte, klaffende und tiefe Risse mit verwitterten Rißufern noch einwandfrei saniert werden können. Lediglich die minimale verpreßte Rißbreite befriedigt nicht. Allerdings muß bei dieser Beurteilung beachtet werden, daß die verpreßte Rißtiefe 1,86 m beträgt, was ein hervorragendes Ergebnis bedeutet. Bei Rißtiefen  $d \leq 80$  cm können erfahrungsgemäß durchaus Risse bis herab zu 0,01 mm Breite verpreßt werden.

### 3. Luftdurchlässigkeit von Rissen infolge Schwindens u.ä. Beanspruchungen

In der Vergangenheit sind an einigen Schutzbauwerken Risse beobachtet worden, die in ungefähr gleichmäßiger Breite über den gesamten Bauteilquerschnitt verliefen. Als Ursache derartiger Risse kommen Verformungen aus Schwinden, Temperaturspannungen oder mechanischen Beanspruchungen im Inneren der Bauten (Entfestigungs-sprengungen) in Frage. Bei den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sollten die Verhältnisse am rissebehafteten Bauwerk nachgebildet werden. Es wurden Risse in Betonprismen erzeugt und an diesen der Strömungswiderstand und der Einfluß der Rißbreite auf den Luft-Volumenstrom untersucht. Für die folgenden Ausführungen wird auf die Anlagen 4 und 5 verwiesen.

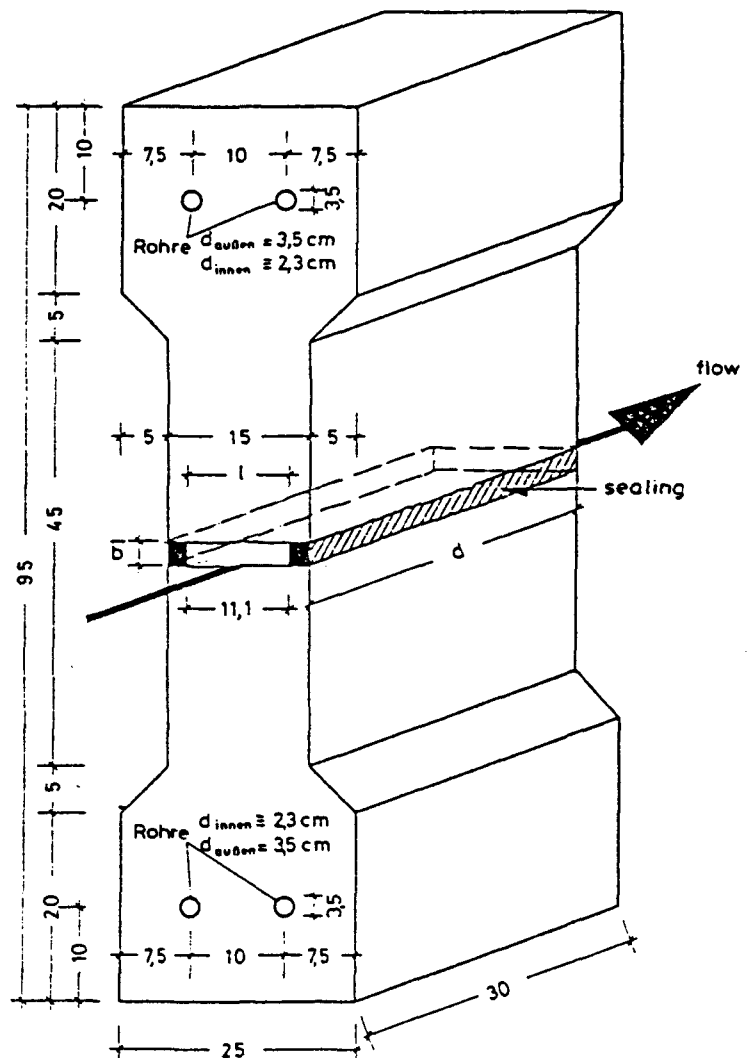


### 3.1 Erzeugung von Zugrissen

Die Erzeugung von Rissen mit annähernd gleicher Breite über einen Bauteilquerschnitt ist nicht einfach; denn es muß eine über den Prüfquerschnitt etwa konstante Zugspannung aufgebracht und dabei ein Biegemoment vermieden werden. Der "natürlich" ablaufende Schwindvorgang in Form oberflächennaher Austrocknung bei gleichzeitiger Verformungsbehinderung scheidet zur Rißerzeugung aus. Eine Zugprüfmaschine oder ein Prüfraumen müßte wegen der erforderlichen Prüfkörpergröße und der krafteinleitenden Elemente erhebliche Abmessungen aufweisen, wodurch letztlich unangemessene Kosten verursacht würden. Zur Prüfung der Gasdurchlässigkeit von Rissen mit etwa konstanter Rißbreite über einen 30 cm dicken Bauteilquerschnitt ( $\approx$  Mindestdicke im Schutzraumbau) wurden deshalb einfache Stahlbetonkörper der skizzierten Art verwendet, die im wesentlichen als prismatische Körper - Prüflänge 45 cm; Prüfkörperabmessungen Prüfkörperquerschnitt  $15 \times 30 = 450 \text{ cm}^2$  - mit Kopfstücken, in die jeweils zwei Rohre einbetoniert sind, gekennzeichnet werden können. Zur Rißerzeugung wurden in die Rohre Gewindestangen eingesetzt, an diese Stahlkonsolen angeschraubt und die Konsolen mit jeweils einer 200 kN LUKAS-Presse an den Ecken auseinandergedrückt. Durch Verändern der Exzentrizität (Krafteinleitungsabstände) konnte eine bis zur Rißentstehung gleichmäßige Dehnung der Prüfkörper erreicht werden.

Für die Untersuchungen wurden zehn solcher Körper hergestellt, im mittleren Teil anfangs mit 14 Stäben, Durchmesser 6 mm, aus Betonstahl der Güte 420/500 RK bewehrt. Die Verankerung der Rohre erfolgte durch eine aufwendige Bewehrungsführung in den Kopfstücken, die dennoch nicht voll befriedigt hat:

Bei den ersten vier Körpern haben sich unerwünschterweise im Lasteinleitungsreich der Zugkörper-Köpfe zahlreiche Risse eingestellt, die die gezielte Erzeugung eines Risses längs der eigentlichen Prüfstrecke erschwerten. Deshalb wurde



die Bewehrung in Prüfkörpermitte bei den folgenden sechs Prismen, die für die Durchlässigkeitsuntersuchungen Verwendung fanden, über 10 cm Länge auf sechs Stäbe, Durchmesser 6 mm, reduziert, was zu dem gewünschten Erfolg führte. Angaben zur Rißspannung siehe Abschnitt 4.2.

Zur Kontrolle der Rißbreite wurden längs der Prüfstrecke in der Nähe der Ecken auf den Längsseiten 1/100 mm Meßuhren angesetzt und nach deren Anzeige der Preßdruck von Hand gesteuert. Die Prüfkraft ( $\leq 116$  kN) wurde dabei auf den verlängerten Kolben der LUKAS-Pressen mit DMS abgegriffen und mit einem UV-Oszillografen registriert.

Nach der i.a. ruckhaften Entstehung des ersten Risses wurde entlastet, um bleibende bzw. elastische Dehnung an den Uhren zu messen und daraus einen Vorgabewert für die gewünschte Rißbreite abzuleiten. Abschließend wurde auf den beiden Schmalseiten die Breite der Risse  $b$  jeweils an 14 Stellen im 1 cm-Abstand mit der Rißlupe gemessen.

Das angewendete Verfahren funktioniert einwandfrei, wenngleich die Rißbreite lokal durchaus erhebliche Schwankungen um den angestrebten Mittelwert aufweist oder auch verzweigte Risse gebildet werden. Dieselben Verhältnisse liegen aber auch bei den an Schutzbauten beobachteten Rissen durch Schwinden o.a. Ursachen vor. Auf die Rißgeometrie im Inneren der Prüfkörper können jedoch keine Rückschlüsse gezogen werden.

### 3.2 Messung der Luftdurchlässigkeit

Neben der Bestimmung des Strömungswiderstandes  $r = p/v$  aus der Durchlässigkeit der Risse im stationären Zustand (Druckdifferenz  $p$  und Volumenstrom  $v$  konstant) wurde der Strömungswiderstand auch aus der Abklingzeit  $\tau$  für einen Druckabfall  $p = p_0 e^{-t/\tau}$  ermittelt. Hierzu wurde an der willkürlich gewählten Eintrittsseite der Prüfkörper ein zylindrisches Metallgefäß mit 11,1 cm Innendurchmesser und  $1000 \text{ cm}^3$  Volumen angesetzt: In der Wandung des Metallgefäßes war ein Differenzdruckaufnehmer angebracht, mit dessen Hilfe der Druck im Modellvolumen als elektrischer Analogwert registriert und aus der zeitlichen Druckänderung die Abklingkonstante  $\tau$  ermittelt werden konnte. Vor Messung der Durchlässigkeit sind die  $d = 30$  cm langen Längsseiten der Probekörper mit ATMOSIT-Gehäusedichtung und PRESTOLITH-Spachtel verschlossen worden.

Die Untersuchungen wurden bei Luft-Überdrücken zwischen 100...750 N/m<sup>2</sup> (10...75 mmWS) durchgeführt; der Druck wurde vorzugsweise - nach Reduzierung - einer üblichen 200 bar-Druckluftflasche entnommen. Die Messung des stationären Druckes an der Eintrittsseite erfolgte mit einem Flüssigkeitsmanometer für 250 mmWS. Zur Messung des aus dem Riß austretenden Luftstromes fand ein Rotameter für den Meßbereich von ca. 1 bis 20 cm<sup>3</sup>/s Verwendung. Der begrenzte Bereich des Rotameters machte bei einigen Rißbreiten die o.g. Druckstufen außerhalb des für den Schutzraum interessierenden Intervalls von 50 bis 200 N/m<sup>2</sup> erforderlich.

### 3.3 Ergebnisse der Durchlässigkeitsuntersuchungen

Aufgrund der theoretischen Zusammenhänge, die hier nicht weiter vertieft werden sollen /2/, gelten folgende Gleichungen:

#### 1. Meßgröße Strömungswiderstand

$$r = \frac{p}{v} \text{ in } \frac{\text{Ns}}{\text{m}^5}$$

mit p: Druckdifferenz in N/m<sup>2</sup>  
v: Luftstrom in m<sup>3</sup>/s (Durchfluß)

#### 2. Meßgröße Abklingzeit

$\tau$ : Zeitspanne für eine Druckabnahme auf den e-ten Teil eines beliebigen Anfangsdruckes;  $\tau$  in s

#### 3. Rechengröße Strömungswiderstand; Bestimmung aus der Rißgeometrie

$$r_{th} = 12 \eta \frac{d}{lb^3} \rightarrow 5,90 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{b^3} \text{ in } \frac{\text{Ns}}{\text{m}^5}$$

mit  $\eta$ : Viskosität der Luft bei 20 °C:  $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$   
d: Rißtiefe (Durchflußstrecke in m, hier 0,30 m)  
l: an der Oberfläche sichtbare Rißlänge in m, hier 0,111 m  
b: Rißbreite in m

#### 4. Rechen-/Meßgröße Strömungswiderstand

$$r_{\tau} = \frac{RT\rho}{mV} \cdot \tau \rightarrow 1,07 \cdot 10^8 \tau \text{ in } \frac{\text{Ns}}{\text{m}^5}$$

mit V: Volumen, hier 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>  
m: Molekulargewicht, m = 0,029 kg/Mol  
R: Gaskonstante, R = 8,152  $\frac{\text{Nm}}{\text{KMol}}$   
T: Temperatur, hier 293 K  
 $\rho$ : Dichte der Luft,  $\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3$



Die entsprechend diesen Beziehungen ausgewerteten Meßergebnisse sind aus den folgenden Tabellen sowie den Anlagen 6 und 7 ersichtlich.

Anlage 6 enthält die Abhängigkeit des Volumenstromes  $v$  vom Überdruck in der Darstellung  $p(v)$ ; damit entspricht die Steigung der Geraden unmittelbar der Meßgröße Strömungswiderstand  $r$ . Es fällt auf, daß zu  $v = 0$  noch ein endlicher Druck gehört, trotz ansonsten guter Linearität. Ursache hierfür ist das Verhalten des Durchflußmessers, der erst oberhalb eines bestimmten Minimaldruckes eine annähernd druckproportionale Durchflußmenge zu ermitteln gestattet. Dieses Verhalten erinnert an Systeme mit trockener Reibung.

Zur Überprüfung des theoretischen Zusammenhanges zwischen der am Bauwerk leicht meßbaren Rißbreite und dem Luftverlust bzw. Druckabfall ist der Widerstand in Abhängigkeit sowohl vom Mittelwert der Rißbreite  $\bar{b}$  als auch vom jeweils kleineren der auf den beiden Oberflächen gemessenen Werte  $b_{\min}$  in Anlage 7 aufgetragen.

Im doppelt logarithmischen Maßstab ergibt sich ein angenähert linearer Zusammenhang mit relativ größeren Streuungen bei  $\lg r(\lg \bar{b})$  als bei  $\lg r(\lg b_{\min})$ . Die Abhängigkeit  $r(b)$  entspricht bei Verwendung der Mittelwerte  $\bar{b}$  augenscheinlich besser der theoretisch begründeten 3. Potenz als bei Verwendung der Minimalwerte  $b_{\min}$ . Die Streuungen sind verständlich, zumal zur Charakterisierung der Rißbreite nur die auf den beiden Oberflächen sichtbaren Risse dienen können.

Aufgrund von Probeschnitten durch die Prüfkörper nach der Rißverpressung ist bekannt, daß der Durchflußweg insgesamt größer ist als der geometrische Abstand zwischen den Oberflächen und daß die Rißbreite im Inneren infolge lokaler Verengungen kleiner ist, als nach den äußeren Rißabmessungen anzunehmen. Demgemäß ist der meßtechnisch ermittelte Strömungswiderstand größer als der für Spalte mit ebenen Oberflächen berechnete. Dieses Verhalten läßt sich durch einen Widerstandsbeiwert  $\sigma = r/r_{th}$  berücksichtigen: Die Durchflußmenge ist also um einen Betrag  $\frac{1}{\sigma}$  verkleinert und kann daher zu  $v = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{p}{r_{th}}$  abgeschätzt werden.

Zur Auswertung wurde in Anlage 7 nach Augenschein eine Ausgleichsgerade eingetragen; eine Regressionsrechnung wurde aufgrund der geringen Meßwertanzahl nicht durchgeführt. Aus der Ausgleichsgeraden ergab sich

$$r = 3,55 \cdot 10^{-3} \cdot b^{-3} = 72 \eta \frac{d}{lb^3} \quad \left| \begin{array}{l} \sigma = 12 \\ \sigma = 6 \end{array} \right. = 12 \sigma \eta \frac{d}{lb^3} = \sigma r_{th}$$

- alle Größen in SI-Grundeinheiten -

Der Beiwert  $\sigma$  dürfte von der wahren Rißlänge abhängig sein.

Für die praktische Anwendung der Ergebnisse zur Beurteilung von Rissen in Schutzraum-Außenbauteilen sollte zunächst vom ungünstigsten Fall, d.h. einem Beiwert  $\sigma = 2$  ausgegangen werden. Danach beträgt der Volumenstrom  $v$  unter einem Raum-Überdruck  $p$ :

$$v = \frac{lb^3}{24\eta d} \cdot p \approx 2,3 \cdot 10^3 \frac{lb^3}{d} \cdot p \text{ in } \frac{m}{s} \rightarrow 8,24 \cdot 10^6 \frac{lb^3}{d} \cdot p \text{ in } m^3/h$$

Tabelle 1: Meßergebnisse der Durchlässigkeitsprüfung

Prisma Nr.	Rißbreite <sup>+) </sup> $10^4 \bar{b}$			Druck- differenz  p N/m <sup>2</sup>	Durchfluß  $10^6 v$ m <sup>3</sup> /s	Abkling- konstante  $\tau$ s	Strömungs- widerstand  $10^{-7} r$ Ns/m <sup>5</sup>	Strömungs- widerstand  $10^{-7} r_{th}$ Ns/m <sup>5</sup>	Strömungs- widerstand  $10^{-7} r_{\tau}$ Ns/m <sup>5</sup>	Strömungs- Beiwert  $\sigma$ -
	$b_E$	$\bar{b}$	$b_A$							
	m									
1	5,6	5,25	4,9	125...500	2,3 ...12,8	0,38	3,68	0,41	4,07	8,98
2	3,4	3,15	2,9	250...750	2,5 ...16,0	0,74	3,75	1,89	7,92	1,98
3	6,5	8,90	11,3	100...200	7,0 ...20,2	$\leq 0,03$	0,80	0,084	0,32	9,52
4	7,4	7,75	8,1	60...170	1,6 ...19,8	$\leq 0,04$	0,65	0,127	0,43	5,12
5	3,8	3,65	3,5	110...560	1,3 ...19,9	0,26	2,40	1,21	2,78	1,98
6	3,1	2,30	1,5	500...750	1,05... 1,75	4,75	42	4,85	50,8	8,66
Mittelwert $\sigma = 6,04$										

+)  $b_E$ : Luft-Eintrittsseite  
 $b_A$ : Luft-Austrittsseite Mittelwert aus 14 Einzelmessungen  
 $\bar{b} : \frac{1}{2} (b_E + b_A)$

Tabelle 2: Auswertung der Meßergebnisse für  $\Delta p = 500 \text{ N/m}^2$  und  $l = 0,111 \text{ m}$  Rißlänge

Prisma Nr.	mittlere Rißbreite $10^4 b$ m	Durchfluß $10^6 v$ $\text{m}^3/\text{s}$	spezifischer Durchfluß $Q = 3600 \frac{v}{l}$ $\text{m}^3/\text{mh}$	24 d Q <sup>++)</sup> $\text{m}^3 / 24 \text{ h}$	Re —	$\xi_1 = C = 96 \sigma$ —
1	5,3	12,8	0,42	3,0	15	862
2	3,2	9,3	0,30	2,2	11	190
3	8,9	59,8 <sup>+) </sup>	1,94	14,0	72	914
4	7,8	74,4 <sup>+) </sup>	2,41	17,4	89	492
5	3,7	17,4	0,56	4,1	21	190
6	2,3	1,05	0,034	0,24	1,3	831

<sup>+)</sup>  Werte extrapoliert

<sup>++)</sup>  entspricht  $\frac{Q_2}{s/l}$  nach Pihlajavaara

Laut Tabelle 1 gilt für den Strömungsbeiwert  $\sigma \approx 6,0^{+3,5}_{-4,0}$ ; aufgrund der Probenschnitte ist bekannt, daß die Streuung des Beiwerts durch die individuelle Rißstruktur bedingt ist: Große Beiwerte liegen vor, wenn die Rißbreite im Inneren der Bauteile kleiner ist als auf den Oberflächen.

#### 4. Untersuchungen über das Verpressen von Rissen

##### 4.1 Allgemeine Untersuchungen

Derzeit werden im Institut Richtlinien für Eignungsprüfungen von Verpreßarbeiten mit Hilfe von Reaktionsharzen ausgearbeitet. Diese Arbeiten sind von direktem Interesse für die Sanierung von Schutzbauten. Die Prüfungen betreffen

- die Haftung zwischen Harz und Beton bei unterschiedlichen Temperaturen und Betonfeuchten,
- den Verfüllgrad von Fugenquerschnitten, die nur indirekt verpreßt werden können,
- die Verpreßbarkeit von Fugen und Rissen unter Schwellast.

Hierbei wurden von den nachgenannten Firmen u.a. folgende Ergebnisse erzielt.

Haftversuch (Bezugsgröße Biegezugfestigkeit des ungerissenen Betons):

- |  |           |
|--|-----------|
| - trockener Beton, unbelastet:               | 52...94 % |
| - trockener Beton, Schwellast-Beanspruchung: | 53...98 % |
| - nasser Beton, unbelastet:                  | 20...49 % |
| - nasser Beton, Schwellast-Beanspruchung:    | 24...50 % |

Verfüllgrad: unterschiedlich - Breite der verpreßten Risse  $\leq 0,06$  mm  
Schwierigkeiten sind bei nur einseitiger Verpressung und indirekt zugänglichen Fugenquerschnitten aufgetreten.

Schwellast-Beanspruchung: Spaltzugfestigkeit bezogen auf die unbeschädigten

Bohrkerne: 65...97 %

Unter nachfolgender statischer Beanspruchung haben sich teilweise bis zu 50 % der unter Schwellast verpreßten Risse wieder geöffnet.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß das Verpressen selbst kleinster Risse mit Reaktionsharzen möglich ist und dabei, trockenen Beton vorausgesetzt, günstigenfalls die Biegezugfestigkeit von nicht geschädigtem Beton nahezu erreicht werden kann. Bei nassem Beton ist höchstens ein Drittel der Biegezugfestigkeit erreichbar, sofern nicht spezielle Harze eingesetzt werden, die jedoch z.Z. noch Nachteile im Hinblick auf andere Anforderungen aufweisen. Nähere Angaben können den nachgenannten Prüfungszeugnissen der an diesen Eignungsprüfungen beteiligten Firmen entnommen werden.

Firma	Prüfungszeugnis	
	Nummer	Datum
P. Schulte-Stemmerk KG Königstraße 61 4100 Duisburg 1	78 1997	24.11.1978
Beton- und Monierbau AG Postfach 17 04 4000 Düsseldorf 1	79 044	19.01.1979
Alex Hünninghaus GmbH + Co KG Uellendahler Straße 412 5600 Wuppertal 1	79 107	16.01.1979
Torkret GmbH Postfach 17 65 4300 Essen 1	79 019	25.01.1979
Sager & Woerner Postfach 86 06 80 8000 München 86	79 096	16.01.1979
Zeiss-Chemie GmbH & Co Schleiermacherstraße 8 6100 Darmstadt	79 104	18.01.1979
MC-Bauchemie Postfach 23 03 09 4300 Essen 1	79 005	23.01.1979

#### 4.2 Verpressung der Prüfkörper zu Abschnitt 3

Im Hinblick auf eine Sanierung älterer Schutzbauten und veranlaßt durch die teilweise unbefriedigende Dauerhaftigkeit der Verpressung im Rahmen von Eignungsprüfungen sind die für die Prüfung der Gasdurchlässigkeit verwendeten Prüfkörper mit Reaktions-Kunstharz verpreßt und nach einer Erhärtungsdauer von 7 Tagen erneut einer Zug-Beanspruchung bis zur Rißentstehung ausgesetzt worden. Zur

Verpressung wurde CONCRETIN IH der Fa. Concret Chemie (Dr. R. Stenner GmbH), Eisenstraße 38 in 6090 Rüsselsheim, verwendet. Die Verpreßtechnologie wurde im Institut entwickelt; sämtliche Risse sind von einer Seite aus verpreßt worden.

Unter der o.g. Zugbeanspruchung hat sich in keinen Fall derselbe Riß nochmals geöffnet, sondern es sind stets neue Risse erzeugt worden. Aufgrund dieses Ergebnisses ist auf eine erneute Prüfung der Gasdurchlässigkeit verzichtet worden. Die neuen Rißlasten unterschieden sich nur wenig von den bei der Erstbeanspruchung erreichten.

#### 4.3 Andere Methoden zur Gewährleistung der Gasdichtigkeit

Die Anwendung von Reaktionsharz zur Wiederherstellung der Gasdichtigkeit gerissener Schutzbauten ist eine Methode, die zwar relativ kostengünstig ist, jedoch nur dann angewendet werden sollte, wenn zugleich die rechnerische Tragfähigkeit der gerissenen Bauteile wiederhergestellt werden soll. Ist das nicht der Fall, soll also ausschließlich ein Druckabfall im Raum unter den Grenzwert von  $p_i = 5 \text{ mmWS (50 N/m}^2\text{)}$  vermieden werden, dann genügen sehr viel einfachere Methoden. Beispielsweise kommen - jeweils innenseitig - in Frage:

- Verspritzen der Risse mit Fett oder Silikonkautschuk
- Mehrlagiges Überkleben der Risse mit breiten Tesaband o.glw.
- Verspachteln der zuvor an der Oberfläche erweiterten Risse mit Kunstharzspachtelmassen, ggf. auch Gips
- Abdecken der Risse mit streichfähigem Flüssigkautschuk

Die genannten Methoden sind im Rahmen des Forschungsvorhabens bei der Abdichtung der Prüfapparatur mit Erfolg verwendet worden und können daher auch für die Abdichtung am Schutzbau empfohlen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die heute zur Verfügung stehenden Reaktionsharze ein einwandfreies Verpressen auch von alten Rissen in Stahlbeton ermöglichen, wobei die Tragfähigkeit nach der Sanierung der des ungerissenen Betons mindestens nahekommt.

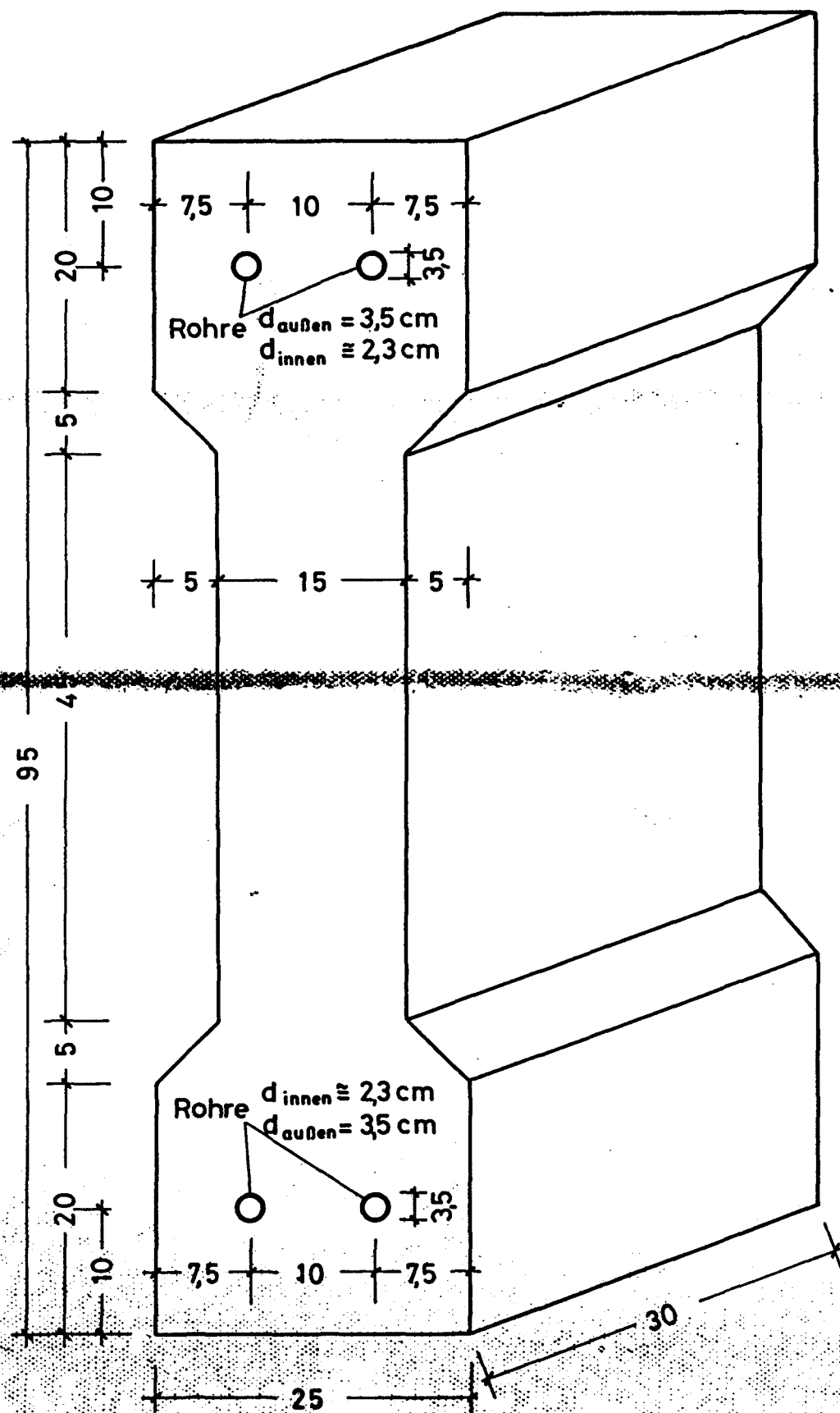
Im Hinblick auf die gegenwärtig diskutierte und durchgeführte Sanierung gut erhaltener älterer Schutzbauten ist es jedoch erforderlich, die Frage der Gasdichtigkeit unter dem Aspekt der vorhandenen Bewehrung aus Stahl I zu überdenken und ggf. Vorsorgemaßnahmen für die Gasdichtigkeit zu treffen.

Literatur:

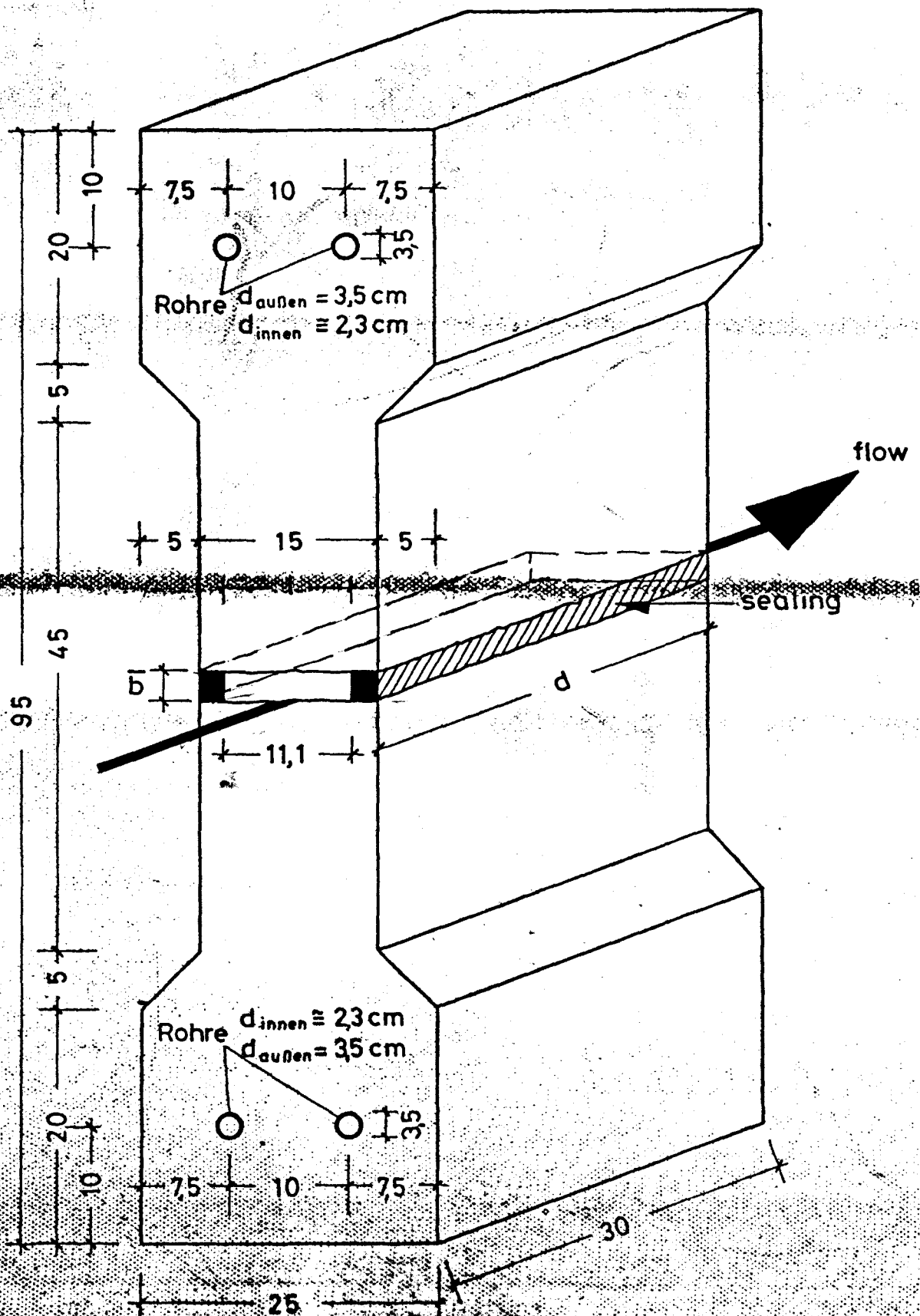
- /1/ Steinert, J.: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten.  
Zivilschutzforschung Band 7, Osang-Verlag  
Bad Honnef-Erpel, 1977.
- /2/ Steinert, J.: Die Gas- und Wasserdichtigkeit von Stahlbeton-Plattenstreifen.  
Unveröffentl. Bericht für das BM Wohnungswesen und Städtebau (Az.: II A 9 - 810705 - 135), 1970.



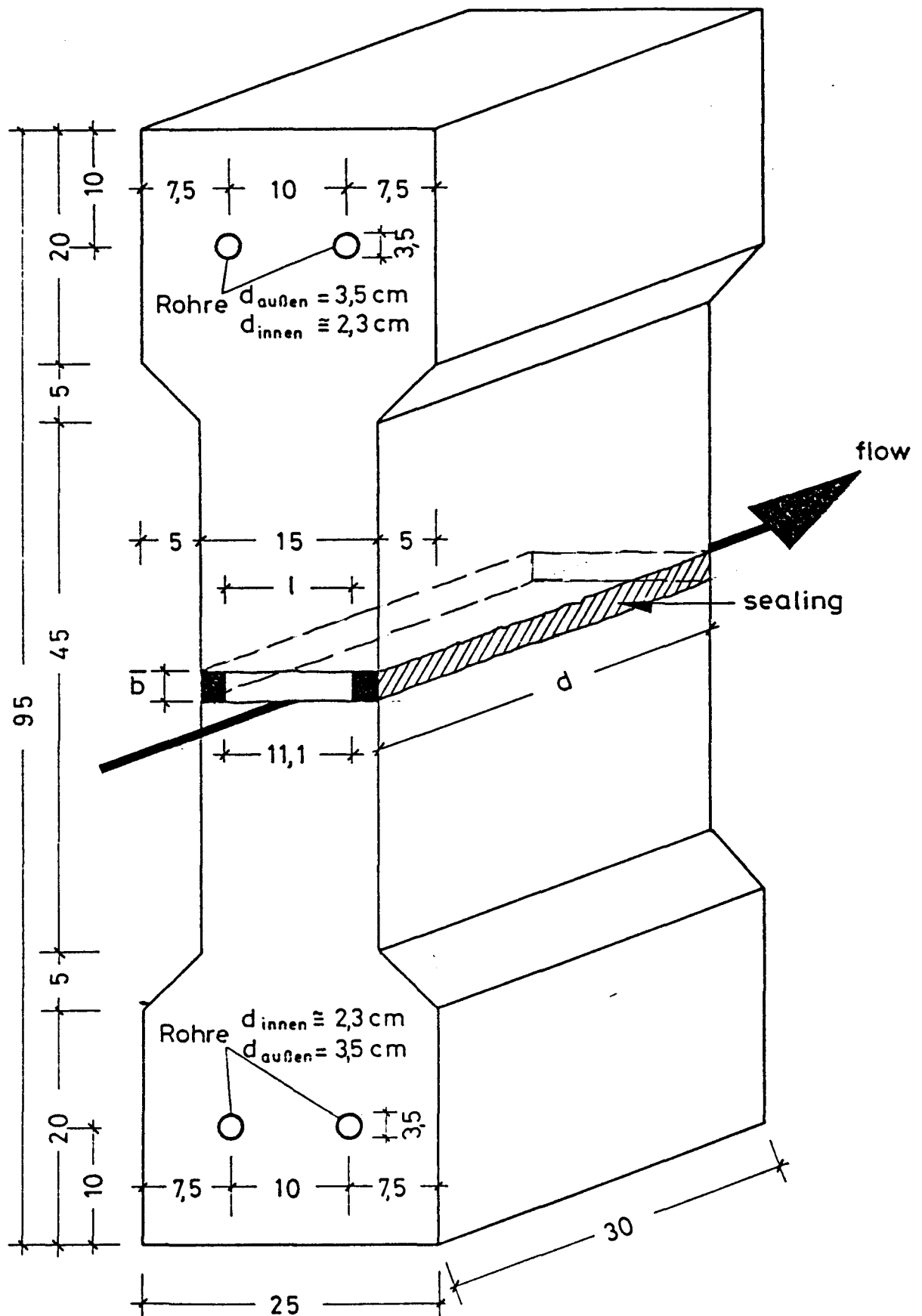
# Prüfkörperabmessungen

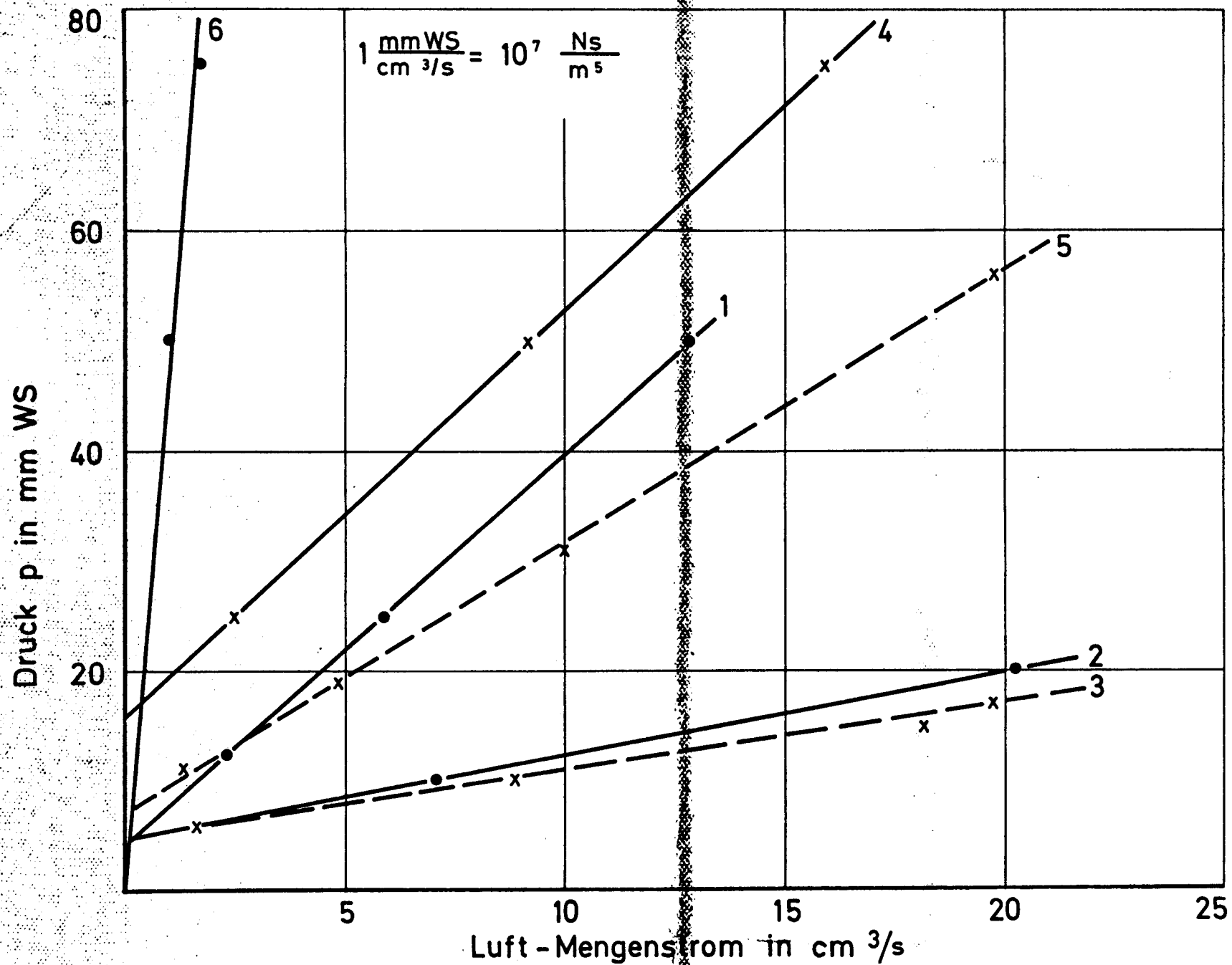


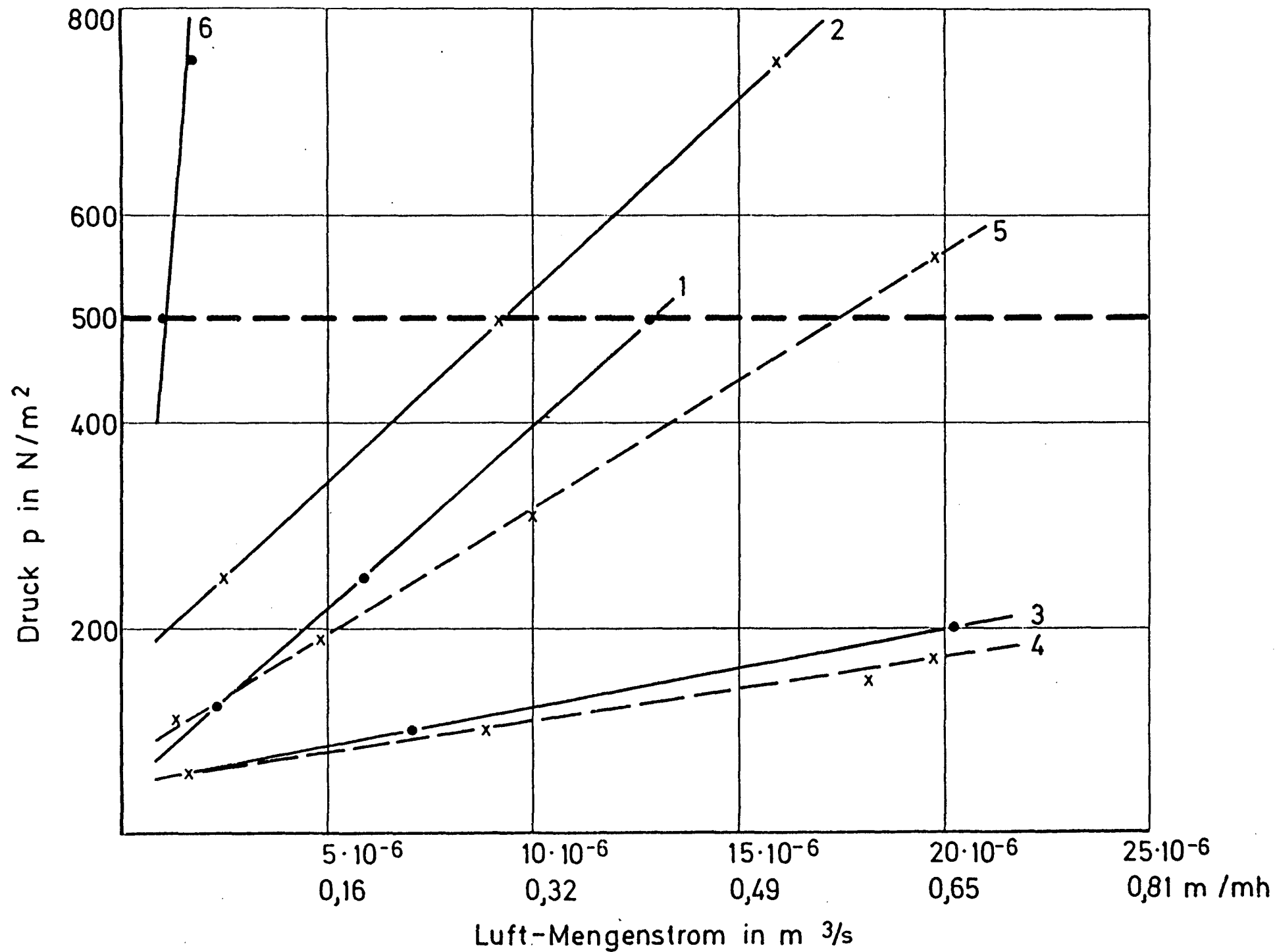
# Prüfkörperabmessungen

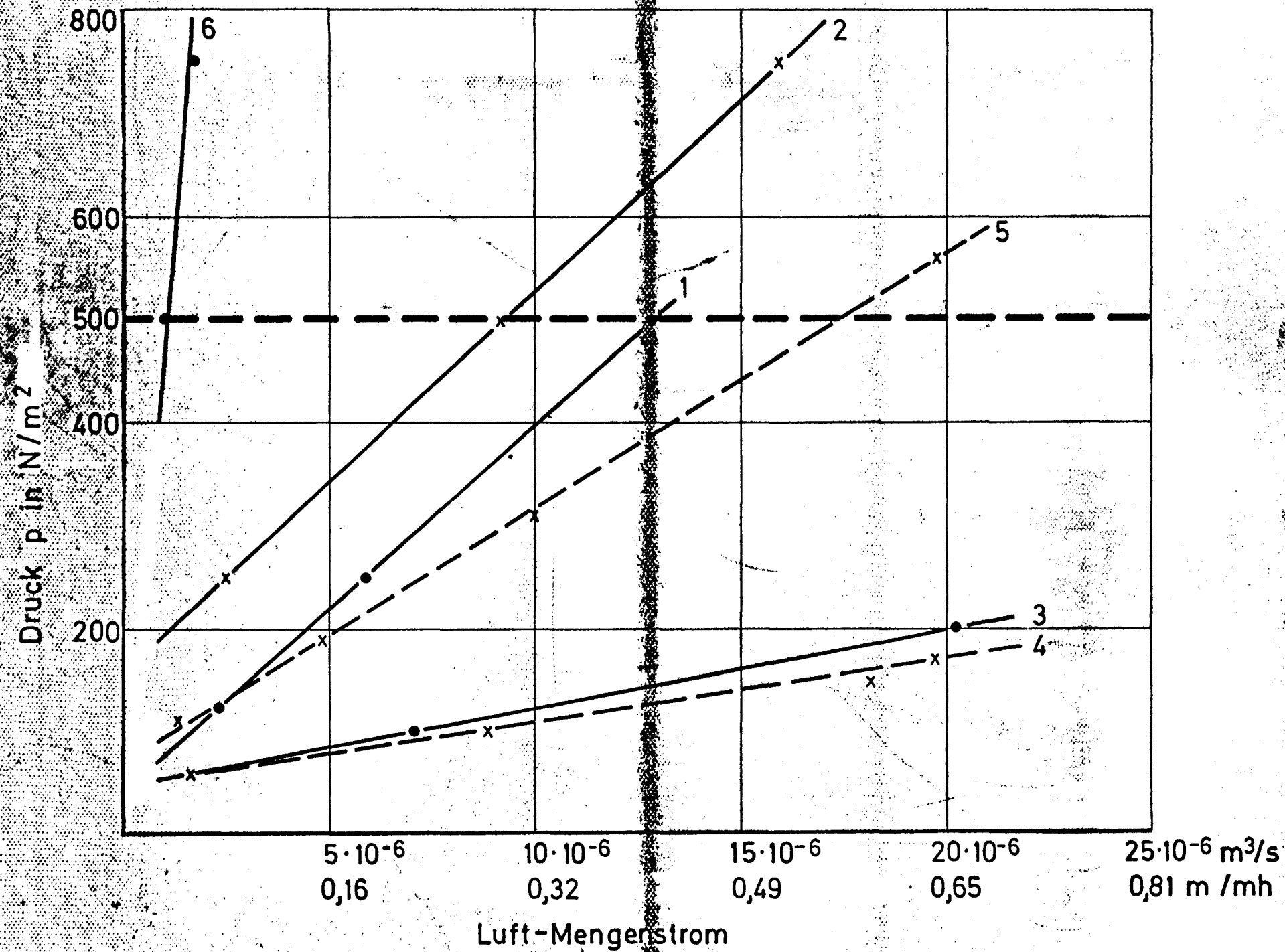


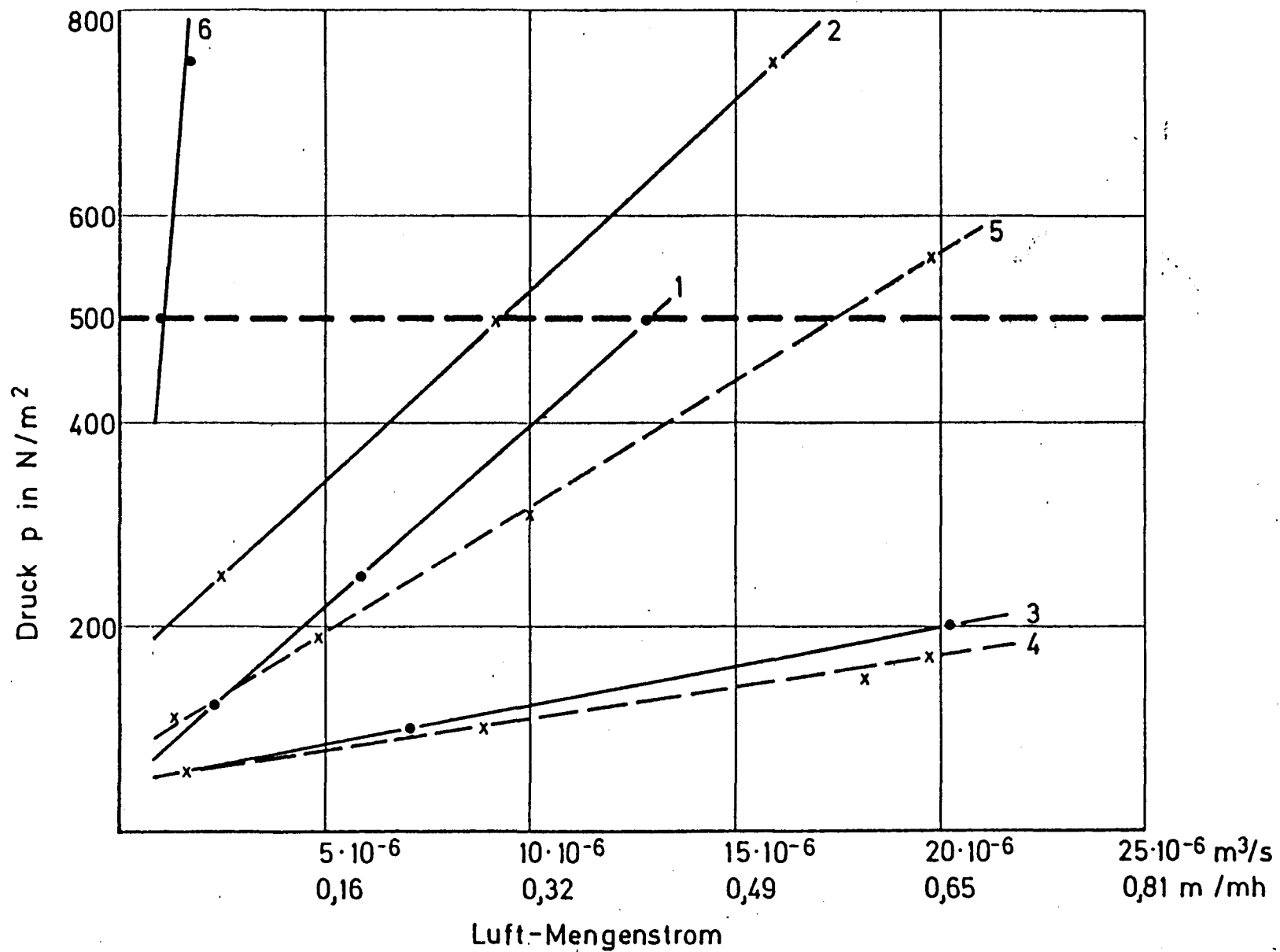
## Prüfkörperabmessungen

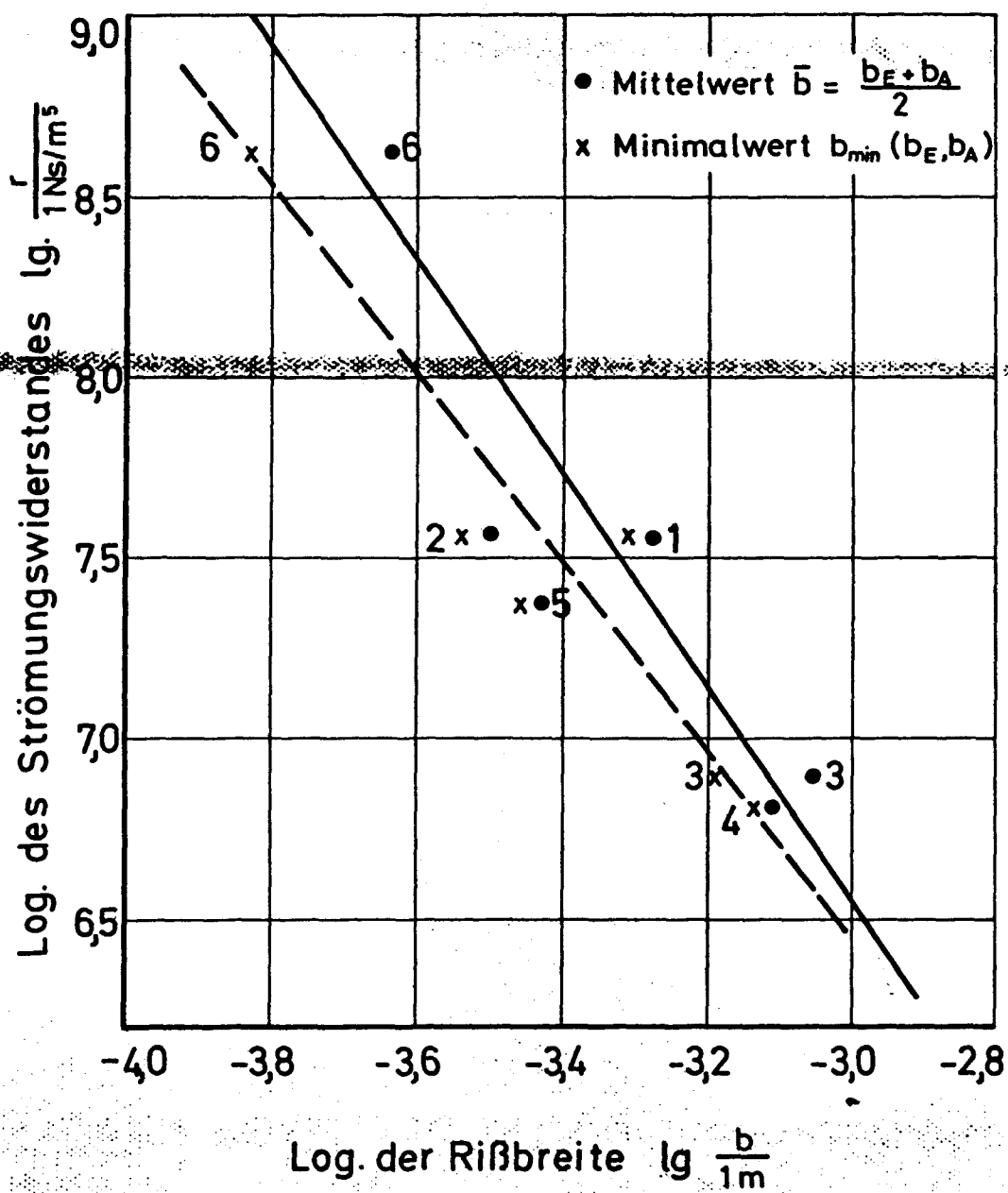




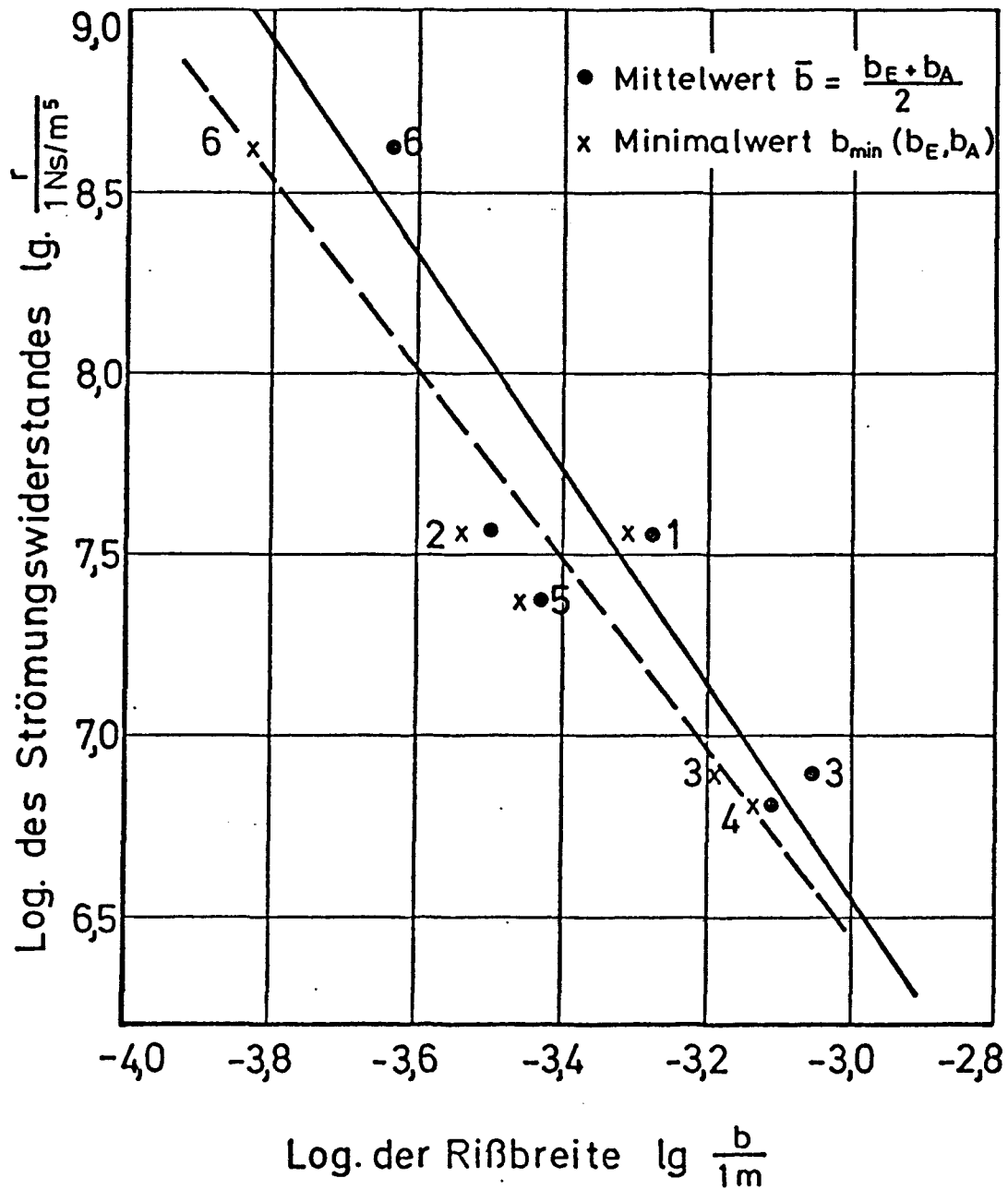












Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand und Rißbreite

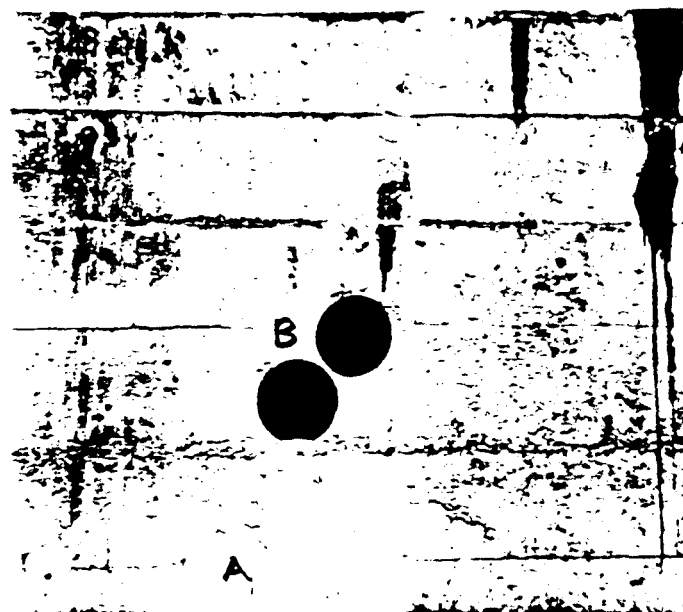
Bild 1:

klaffender Riß entlang einer  
Arbeitsfuge



Bild 2:

0,4...0,75 mm breiter Riß,  
Verlauf zu einer ehemaligen  
Lüftungsöffnung - im Inneren  
Rißfläche geneigt; Riß bis  
zu einer Tiefe von 1,55 m  
verfolgt

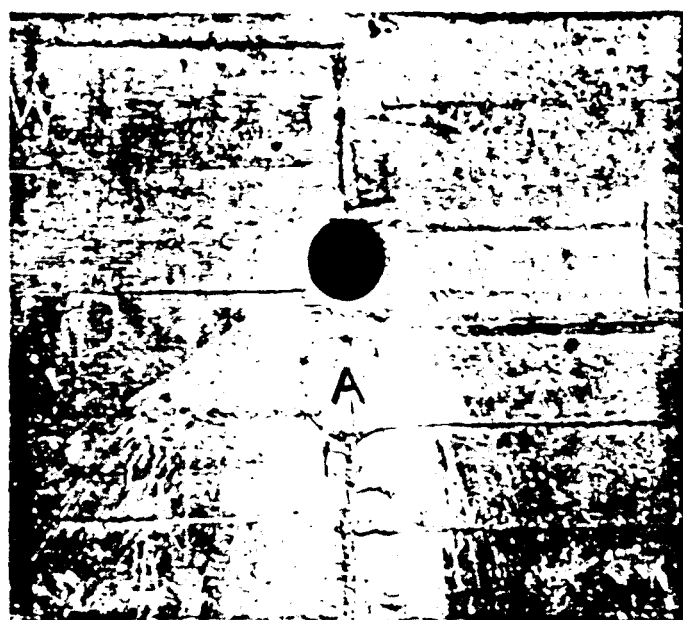


Zu Bild 2 und 3:

A: Kernentnahmestelle vor dem  
Verpressen zubetoniert und  
abgedichtet

Bild 3:

an der Oberfläche 1,5 mm  
breiter Riß entlang einer  
Arbeitsfuge, Verlauf durch  
den gesamten Wandquer-  
schnitt - senkrecht zur  
Oberfläche



Verwitterung

undefinierte  
Veränderungen

Wasserablaufspuren mit Bewuchs

übliche  
Betonstruktur

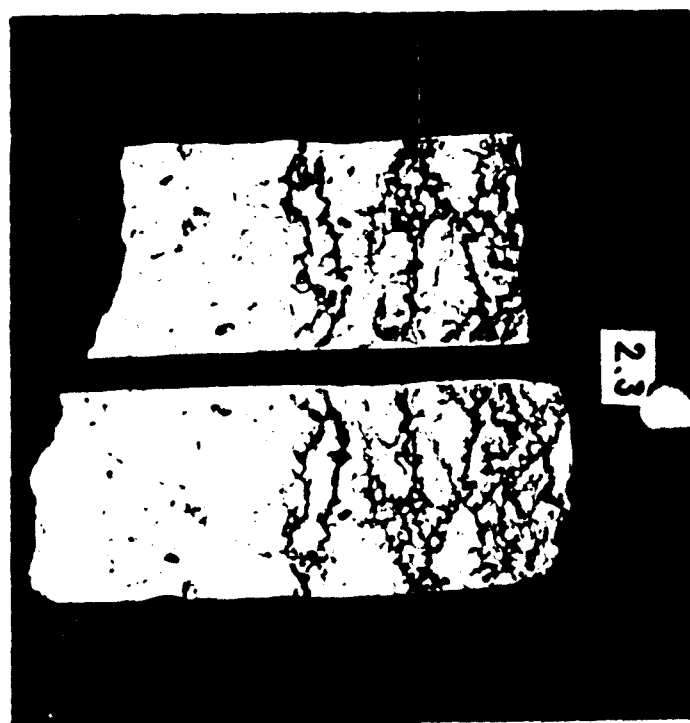
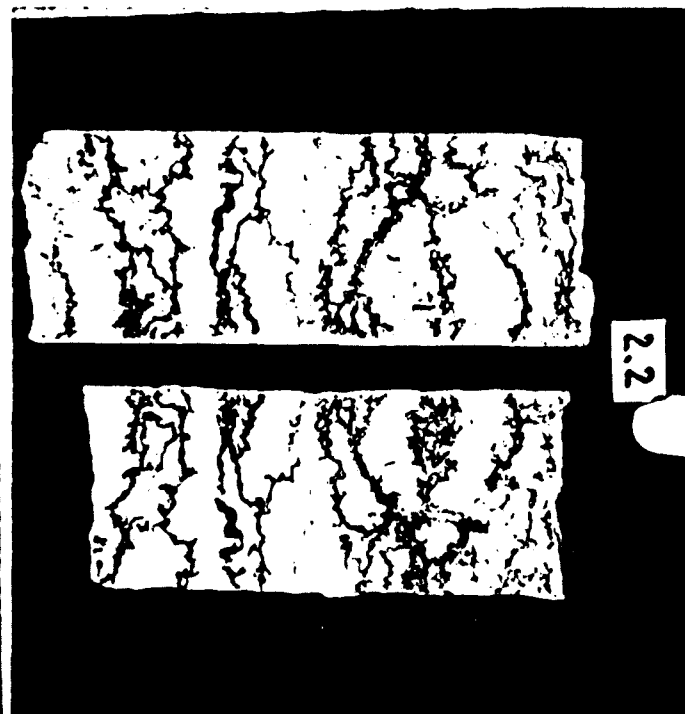
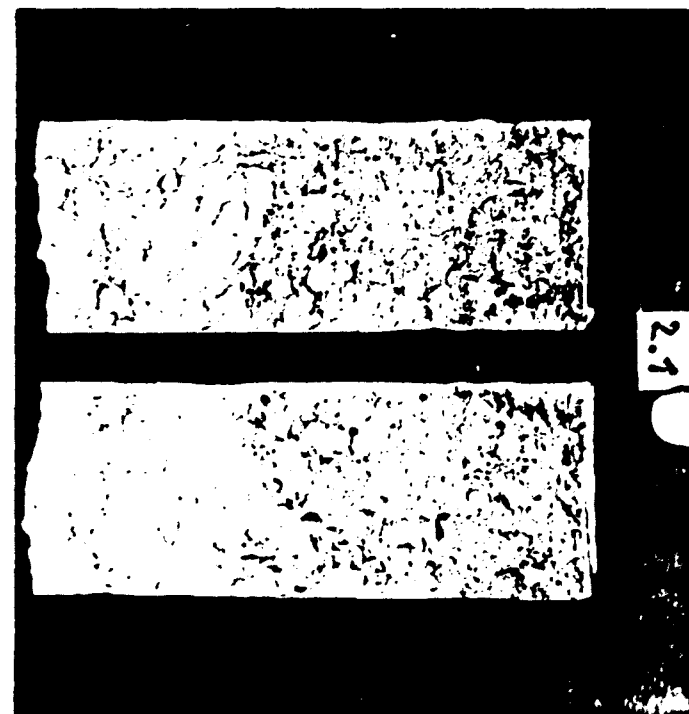


Bild 5:

Inneres Endstück

→ + Übergang zum unverpreßten Riß

1 Innenputz

6 Bewehrung

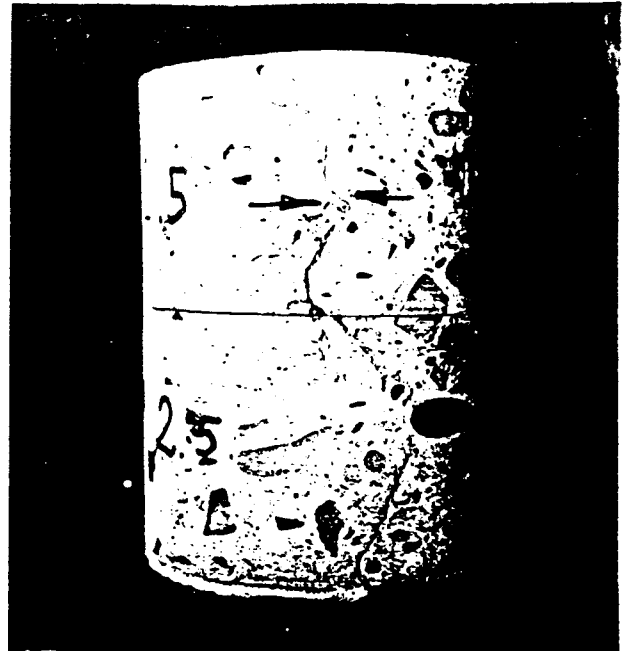


Bild 6:

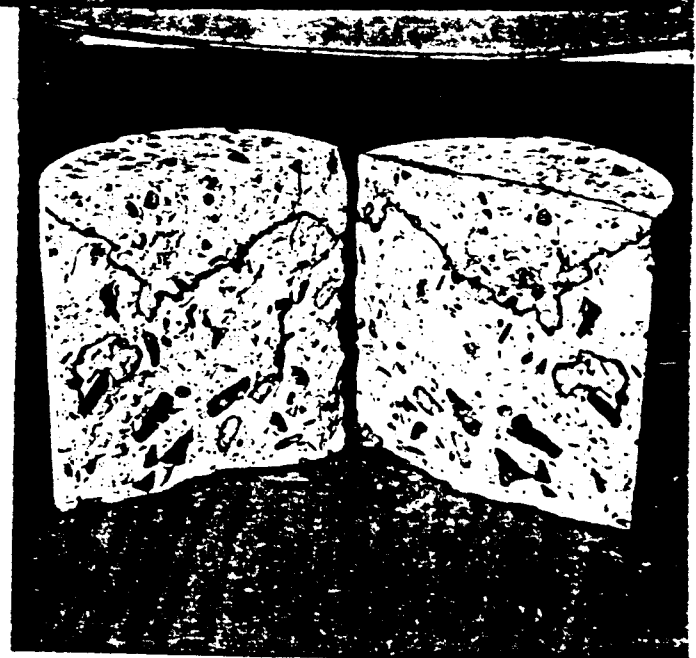
Mitte und links:  
Inneres Endstück  
aufgesägt: Ver-  
zweigung des  
Risses (→) als  
Ursache für die  
Begrenzung der  
Einpreßtiefe

rechts:  
Teilstück nach  
Prüfung der  
Spaltzugfestig-  
keit



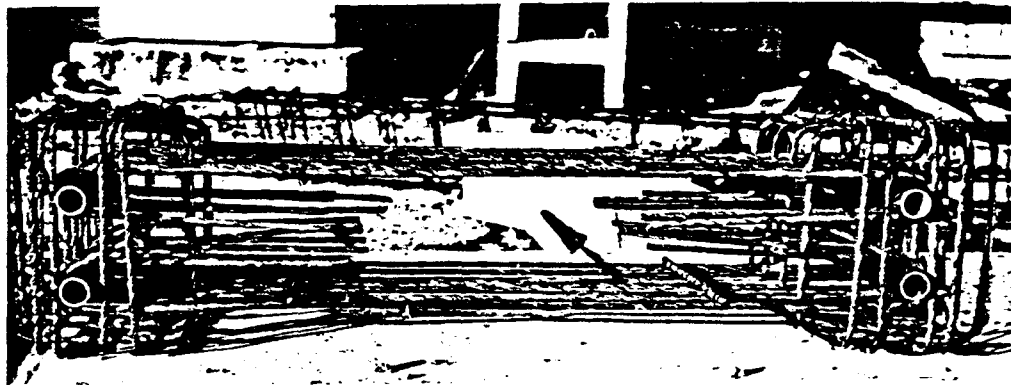
Bild 7:

Teilstück nach Prüfung der  
Spaltzugfestigkeit.  
Die Bruchfläche schneidet  
den Riß zweifach, verläuft  
aber durch den Beton





Bewehrungskorb, mit Belastungsrohren  
(↓ spätere Durchströmungsrichtung)

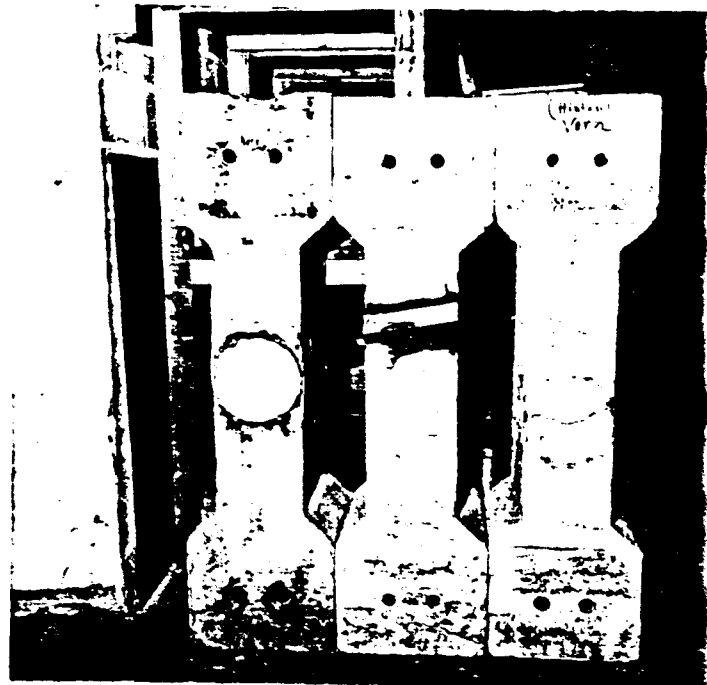


Prüfkörper, nach Abschluß der Durchlässigkeitsprüfung - vor Rißverpressung

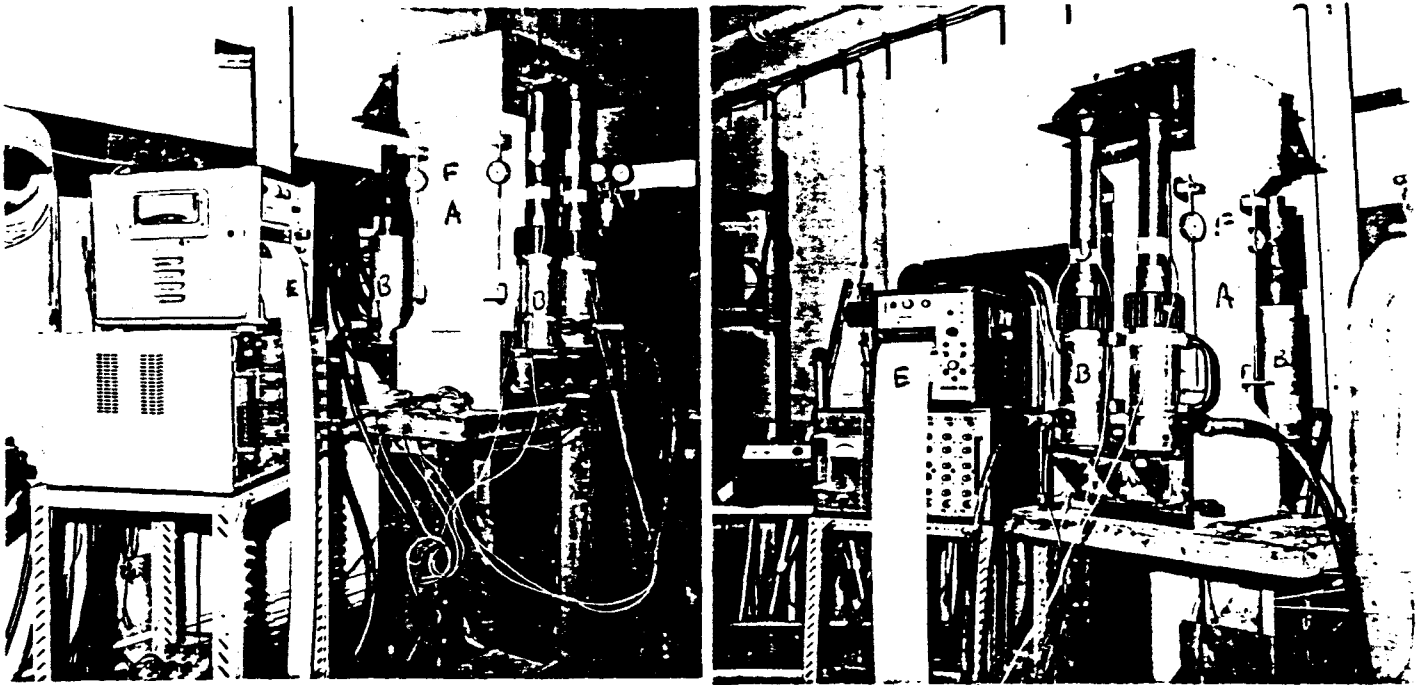
links: Prüfkörper mit mehreren Rissen, Blick auf Luft-Eintrittsseite

mitte: Prüfkörper mit einem klaffenden Riß, Blick auf Luft-Austrittsseite (parallel zum Riß sind Reste der ATMOSIT-Abklebung sichtbar, die jeweils vor Versuchsbeginn zur Prüfung der Dichtigkeit der Apparatur vorgenommen wurde)

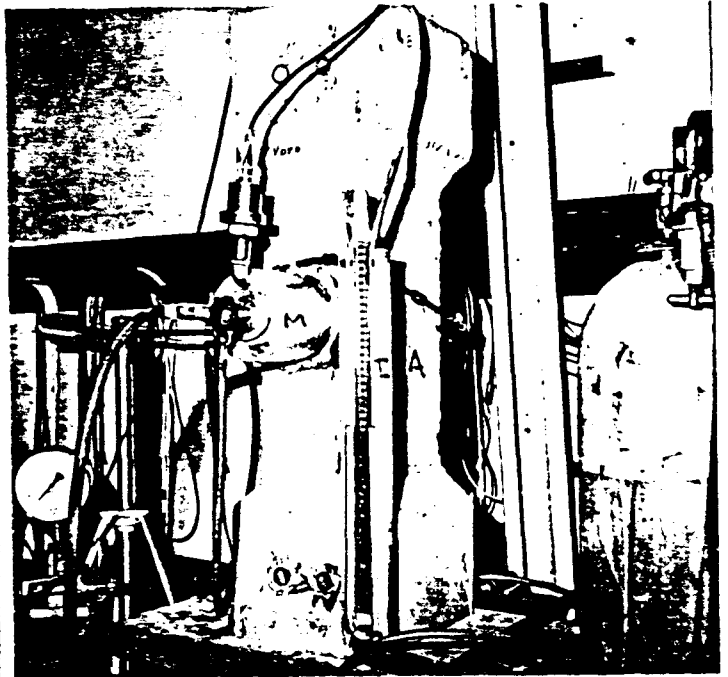
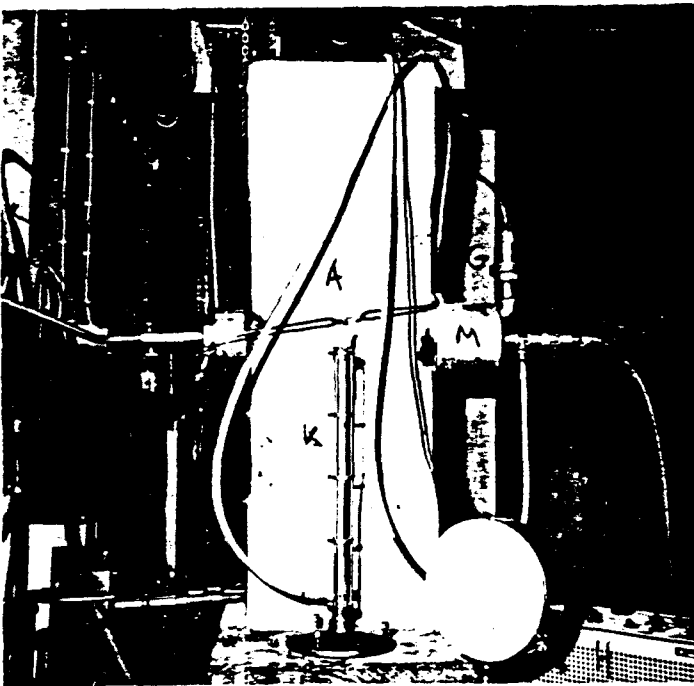
rechts: Prüfkörper mit einem klaffenden Riß, Blick auf Luft-Eintrittsseite



Prüfkörper



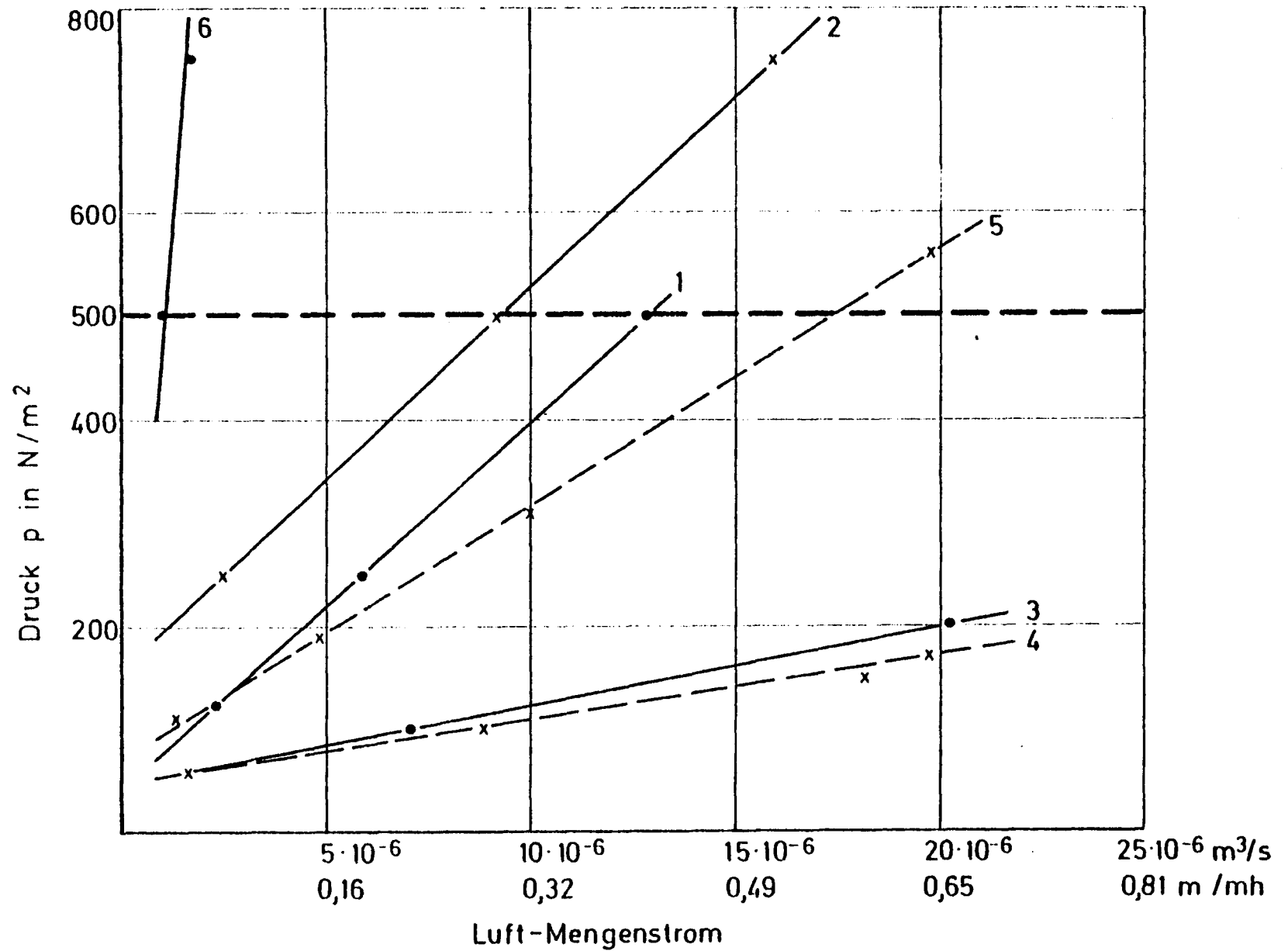
- A: Prüfkörper
- B: Druckbeanspruchung mit LUKAS-Pressen
- C: Belastungskonsolen
- D: Kraftmessung mit DMS
- E: Registrierung der Pressenkraft
- F: Meßuhren zur Bestimmung der Rißbreitensumme



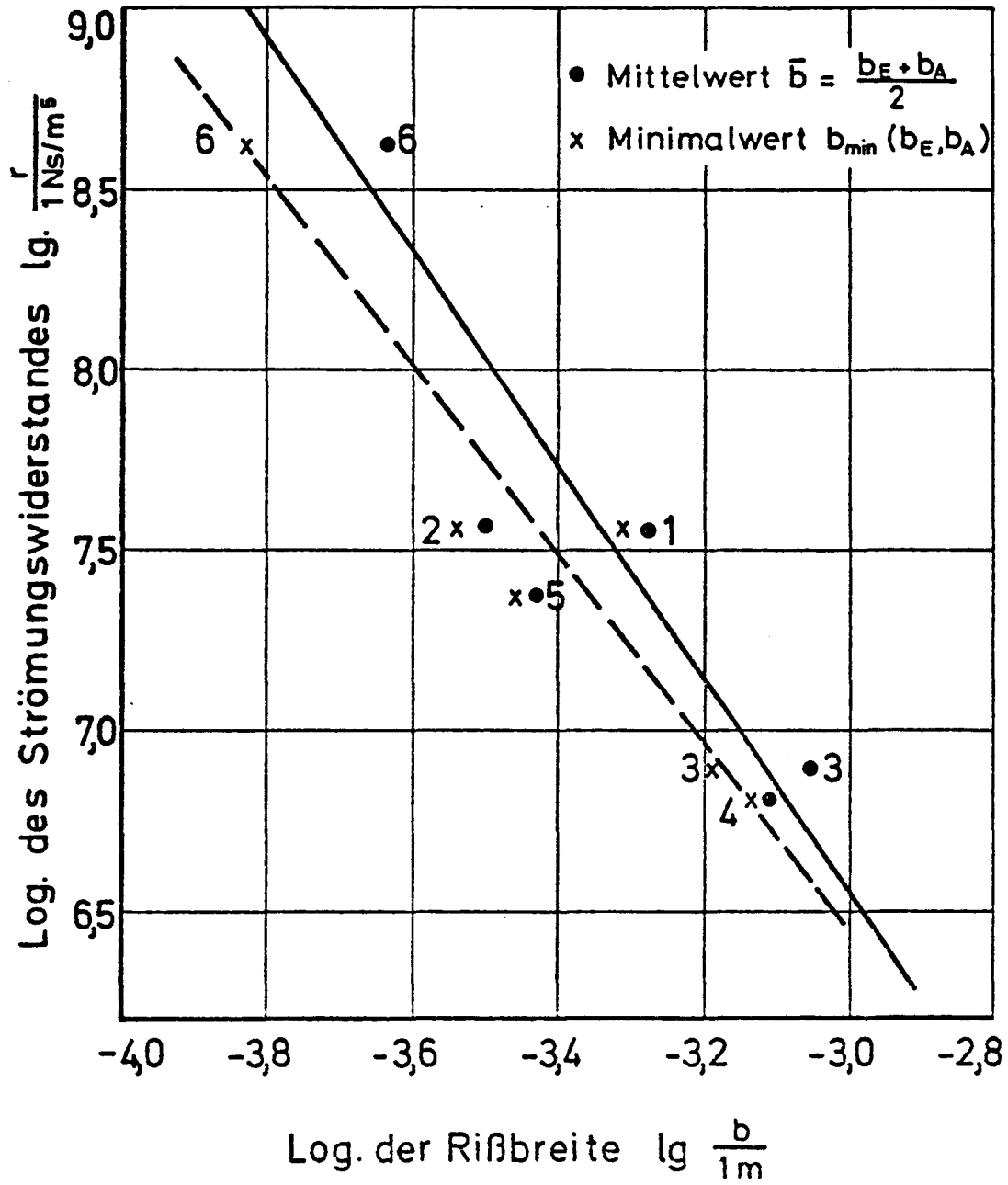
- G: Druckmeßdose
- H: Pegelschreiber zur Registrierung des Druckabfalls
- I: Flüssigkeitsmanometer
- K: Rotameter (Durchflußmeßrohr)
- L: Staurohr zur Messung der Luftgeschwindigkeit
- M: Druckkammer (Modellraum)

Versuchsanordnung zur Rißerzeugung und Durchlässigkeitsprüfung

Durchlässigkeit von 0,15 bis 1,15 mm breiten Rissen



- Anlage 6 -



Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand und Rißbreite